

**А.В. Бородулин^{*}, А.Л. Чайка^{*}, А.А. Сохацкий^{*},
И.А. Осташко^{*}, А.И. Швачка^{*}, К.С. Цюпа^{*}**

*Вода и камень, лед и пламень
не столь различны меж собой.*

А. Пушкин

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К ТЕПЛОВЫМ ПОТЕРЯМ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

В статье рассматривается важнейшая проблема металлургической науки и практики – уменьшение потерь тепла при работе доменных печей.

Ключевые слова: доменные печи, системный подход, тепловые потери

По данным профессора И.Ф. Курунова среди средств контроля и автоматизации доменной плавки в мире третьим по важности является контроль потерь теплоты рабочего пространства доменных печей, после контроля железорудного сырья и кокса и технологии обработки продуктов плавки.

Развитие техники и технологии производства чугуна включает многие векторы направления развития: увеличение полезного объема печи, разработку нового оборудования, обслуживающих агрегатов, расширение энергетической и сырьевой базы производства, совершенствование процесса выплавки чугуна, применение новых конструкций и материалов для ограждения печи, в том числе огнеупоров, совершенствование процесса выплавки чугуна, методов контроля и управления, организации производства.

Факторы и направления развития порой бывают противоречивыми. Таких примеров в доменном производстве большое множество. Вспомним напор с увеличением числа фурм до 42 и увеличением скорости доменного дутья до 250 м/сек. Наши исследования не показывают такой необходимости [1, 3, 6]. Посадить «козел» сумели и на печи с большим числом фурм. Далеко не очевидно наличие охлаждаемых холодильников на колошнике и применение медных холодильников в шахте. Фирма «Данго Диненталь» в Германии еще в период индустриализации страны Советов изготовляла заслонки на завалочные окна мартеновских печей из литой меди, но жизнь быстро поставила на место эти разработки. Сейчас труднее, т.к. сильнее стало коммерческое воздействие проекта на людей, которые крутятся вокруг него.

Нам не стоит забывать опыт и суждения по аналогичным поводам адмирала А.Н. Крылова: «К такого рода сведениям, помещаемым в иностранных, даже технических журналах, надо относиться

^{*} *Бородулин Александр Васильевич* - доктор технических наук. Институт черной металлургии НАН Украины.

^{*} *Чайка Александр Леонидович* – кандидат технических наук. Институт черной металлургии НАН Украины.

^{*} *Сохацкий Александр Анатольевич* - кандидат технических наук, научный сотрудник. Институт черной металлургии НАН Украины.

^{*} *Осташко Игорь Александрович* – инженер I –ой категории. Институт черной металлургии НАН Украины.

^{*} *Швачка Александр Иванович* - ведущий инженер. Институт черной металлургии НАН Украины

^{*} *Цюпа Кирилл* - аспирант Института черной металлургии НАН Украины

с большой осмотрительностью, ибо часто они диктуются не стремлением обнаружить истину, а стремлением извлечь коммерческую выгоду». Далее: «Где могло быть нечто подобное, кроме России, где не только чиновники, но и министры пресмыкались перед границей».

Увеличение интенсивности охлаждения (увеличение поверхности охлаждения шахты до колошника, расхода воды в системе охлаждения, использование высокотеплопроводных материалов и меди в конструкции печи) увеличивает расход кокса и ухудшает иные технико – экономические показатели доменной плавки, создает предпосылки для инверсии температурного поля в шахте, искажает её профиль со всеми последствиями. Охлаждение шахты доменной печи колошниками до колошника не целесообразно. Эта зона не определяет межремонтный период работы печи.

Полученные по единой методике (калориметрическим методом, начиная с 1968 г.) на 40 доменных печах Украины и России объемом 180 – 5000 м³ с ошибкой измерения до 20% и систематизированные инструментальные данные показали, что тепловые измерения в периферийной зоне являются важнейшим фактором стабилизации и экономичности технологии плавки, надежности и долговечности доменных печей. Они использовались при освоении технологии доменной плавки на комбинированном дутье высоких параметров в печах большой единичной мощности (объемом 3000 – 5500 м³), при совершенствовании конструкций и режимов работы систем охлаждения этих печей, развитии математических моделей доменного процесса, вошли в учебную и справочную литературу [2, 3].

Объединение в единой теплоэнергетической модели многозонных энергетических (таблица) и эксергетических балансов плавки, процессами тепло- и масссообмена с физико-механическим параметрами состояния ограждения печи, инструментальные измерения температуры и тепловых потоков на ограждении домы позволило создать новое научное направление в металлургии – системная надежность производства чугуна. Основной задачей этого направления для доменного производства является совместный поиск эвристическими, инструментальными и формализованными методами рациональных, компромиссных решений, обеспечивающих, с одной стороны, требуемый объем выплавки чугуна заданного качества, с другой стороны, минимальный расход энергетических ресурсов, и с третьей стороны, обеспечение технической надежности работы доменной печи и агрегатов ее обслуживающих, минимального вредного воздействия производства на окружающую среду.

Она пересекается с инженерными дисциплинами по охране труда: традиционной по технике безопасности и, основанной на теориях риска, классической промышленной безопасности в металлургии. Порой они разобщены и конфликтуют между собой. Системная надежность может быть полезна для усиления их теоретической базы [4].

Её начала исходят к теоретическим и инструментальным исследованиям и разработкам в середине XIX в. выдающихся металлургов и механиков И. Белла и В. Сименса, работам 1930-х гг. фундамента энергетической теории печей И. Семикина, который в 1930 г.

в статье «Тепловая работа мартеновской печи» ввел новое для металлургической теплотехники понятие – «холостой ход» печи, перенося его из раздела тепловых машин. Последующие настойчивые исследования тепловых потерь рабочего пространства и тепловой работы доменных печей Г.И. Дёмина встретили не очень приветливо отечественные ученые–доменщики [1, 3, 5]. А зря.

Таблица 1.

Тепловая работа доменных печей, исследованных И. Беллом и В. Сименсом

Показатели работы доменных печей	Clarence Works		Ормес	Консетт	
	№1, 1853	№2, 1866	1867	без №	№1, 1853
Общая тепловая мощность домы мн. ккал/час	12.9	12.5	20.7	18.4	15.7
КИТ углерода кокса в домне	0.406	0.482	0.449	0.453	0.477
Тепловой дефицит чугуна, ккал/кг чугу.	3658	3526	3478	3114	3076
Наружные потери теплоты печи, тыс. ккал/час	442	549	932	733	688
Производительность домы, рассчитанная по методу И.Д. Семикина, тонн чугу./сутки	31	37	58	59	53
Производительность домы по И. Беллу, тонн чугу./сутки	30	38	63	55	60
Расход углерода кокса, сгорающего на фурмах, кг /т чугу.					
в том числе потребление углерода на технологию плавки	1127	915	968	860	806
расход углерода на покрытие потерь теплоты ограждения печи	104	92	108	83	81
Итого расход углерода, сгорающего на фурмах, по И.Д. Семикину, кг/т чугу.	1232	1007	1076	943	887
Расход углерода кокса, сгорающего на фурмах, по Л. Грюнеру, кг/т чугу.	1288	990	987	1006	789

Отметим важность информационного обеспечения процессов в домне, явно недостаточного, и целесообразность критического анализа ряда больше коммерческих предложений по развитию техники и технологии производства чугуна, активно прививаемых из-за рубежа. Нами оспаривается целесообразность охлаждения домы по всей высоте, включая купол колошника, внедрение медных холодильников в шахте, параметры работы фурменной зоны с увеличенным количеством фурм малого диаметра (порядка 150 мм) и скоростью истечения до 250 м/сек [6-8].

Системная надежность доменного производства, кроме авторов статьи, развивается аналитически и инструментально на Алчевском комбинате, «Арселор Миттал Стил», им. Ильича, «Запорожстали», НЛМК, ЗСМК, НКМК; усилиями специалистов различного профиля: к.ф.–м.н. В.Г.Зайцевым, асп. Б.В. Корниловым, к. ф.–м.н. Н.Н. Лычагиным, А.А. Москалиной, Г. В. Панчехой, асп. К.С. Цюпой, А.И. Швачкой, к. ф.–м.н. А.Г. Шевелевым, В.Ю. Шостаком. Выполняются работы и в кооперации. Так, Государственное Украинское конструкторское бюро «Южное», ИЧМ и Укргипромет разрабатывают высокоэффективную систему охлаждения доменных печей. Она, по сравнению с системами испарительного охлаждения, с естественной и искусственной циркуляцией, поддерживает на хо-

лодильниках специальной конструкции, не зависящий от тепловой нагрузки температурный уровень, при этом параметры пара будут выше и стабильнее, чем на традиционных системах испарительного охлаждения. Высокая теплоотводящая способность холодильников нового типа обеспечивает стабилизацию рабочих температур на футеровке печи для образования гарнисажа.

Специалистов-системных аналитиков, способных работать на стыках различных научных направлений немного и их необходимо готовить в вузах, используя опыт выдающихся металлургов, таких как Владимир Иванович Гулыга [9].

В работе этого выдающегося инженера и легендарной личности видна смелость мысли, высочайшая квалификация, огромная инженерная интуиция и жизненный опыт, жёсткость логики, чёткость. Его статьи, где формулировки так же конкретны, как и формулы, больше напоминают боевой приказ офицера, чем трактат ученого. В.И. Гулыга последовательно выступал за строительство крупных доменных печей. Научный базис принципа Гулыги в авторском изложении звучит лаконично и конструктивно:

«Тут важен сам принцип, независимо от физических свойств руды, центр колошника больших печей не должен засыпаться рудой. Детализируя вопрос о выборе размера подачи, я указывал, что это – дело руководителя печи, ибо здесь должны быть учтены все качества того сырья, которое идёт в печь» Девиз Гулыги «малая подача и большая фурма» подтверждается работой малых доменных печей Китая, практикой печей современности, исследованиями на опытной домне в Днепродзержинском индустриальном институте (В.И. Логинов, Н.З. Плоткин, Н.Н. Чернов) [3, 9]. Он играет важную роль в системной надёжности доменного производства, но в отечественной металлургии этой проблеме уделяется традиционно недостаточно внимания.

Литература:

1. *Бородулин А.В., Чайка А.Л.* Тепловые потери и работа доменных печей // Доменное производство «Криворожстали». Монография. Под ред. чл-корр. НАН Украины В.И. Большакова. – Днепропетровск: СП «МИР». 2004, – с. 265 – 318.
2. Тепловая работа системы испарительного охлаждения доменной печи Кузнецкого металлургического комбината // А.В. Бородулин, Н.С. Поляков, А.Л. Чайка и др. // – Теория и практика производства чугуна: Сб. тр. междунар. науч. - техн. конференции – Кривой Рог, КГТМК «Криворожсталь». 2004, с. 332 – 337.
3. Домна в энергетическом измерении / А.В. Бородулин, А.Д. Горбунов, В.И. Романенко, С.П. Сушев. // Днепродзержинск: 2006. ДГТУ, 542 с. Изд. 2, испр. и доп. Есть в РГБ, г. Москва, Россия.
4. О промышленной безопасности производства чугуна / Блинников В.В., Бородулин А.В., Сушев С.П., Чайка А.Л. // Труды VI международной научно-практической конференции с элементами научной школы для молодежи посвященной 80-летию ММК «Энергосберегающие технологии в промышленности. Печные агрегаты. Экология». М.: МИСиС 15-20 октября 2012 г., с. 31 – 43.
5. *Бородулин А.В.* Тепловая работа печей «Clarence» в современном измерении. Уральский государственный технический университет – УПИ им. первого президента России Б.Н. Ельцина. Творческое наследие Б.И. Китаева: Труды Международн. науч. – практ. конф. 11-13 февраля 2009 г. Екатеринбург: УГТУ–УПИ. 2009. с. 287 – 289.
6. Теплотехнические аспекты сокращения затрат энергии в металлургии чугуна: проблемы и перспективы. / А. В. Бородулин, А.А Сохацкий., А. Л. Чайка и

др. Теория и практика тепловых процессов в металлургии. // – Сб. докл. Международной научной – практ. конференции УрФУ, Екатеринбург: Россия, 18-21 сентября 2012, с. 57 – 66.

7. Тепловая работа и перспективные конструкции шахты и металлоприемника доменной печи при применении пылеугольного топлива / В. И. Большаков, А. В. Бородулин, А. Л. Чайка и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2014. – № 3. – с. 106 – 110.

8. Контроль суммарной величины тепловых потерь с охлаждающей водой на печах доменного цеха и их приложения / Большаков В.И., Бородулин А.В., Чайка А.Л., Швачка А.Г. // Тр. Международной научно-практической конференции «Теоретическое наследие В.Е. Грум – Гржимайло, посвященной 150-летию со дня рождения Владимира Ефимовича Грум – Гржимайло. УрФУ, Екатеринбург, Россия, 26 – 29 марта 2014, с. 74 – 80.

9. Инженер В.И. Гулыга и развитие отечественной техники и технологии доменного производства / А.В.Бородулин, А.Л. Чайка, А.В. Лычев, Е.Ф. Шкурко // - Доменное производство – XIX век. Труды международного конгресса доменщиков. М.: «Кодекс» 2010/, с. 54 – 65.

**A.V. Borodulin, A.L. Chayka, A.A.Sokhatskiy,
I. A. Ostashko, A.I. Shvachko, K.C. Cupa**
**SYSTEMATIC APPROACH TO THERMAL LOSSES
BLAST FURNACES**

The article discusses the important issue of metallurgical science and practice - reduction of heat loss during operation of the blast furnaces.

Keywords: blast furnace, the system approach, the heat loss

**А.М. Дубинин*, В.Г. Тупоногов*, Г.Н. Сковов*,
В.А. Чернышёв*, Е.С.Лабинцев***

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ПАРОВОЙ КОНВЕРСИИ МЕТАНА ПРИ ЗАДАННОМ СООТНОШЕНИИ КОМПОНЕНТОВ

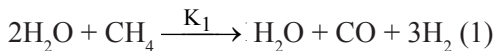
В статье рассмотрены проблемы паровой конверсии метана при определенных условиях, что дает возможность повысить производительность ряда химических процессов

Ключевые слова: паровая конверсия, метан, компоненты

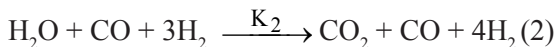
Паровая конверсия метана – один из базовых процессов химической промышленности.

Процесс паровой конверсии рассматривается для соотношения $H_2O : CH_4 = 2 : 1$, в отличие от работ [1,2], где данный процесс рассматривается при соотношении $H_2O : CH_4 = 1 : 1$.

Процесс паровой конверсии метана при соотношении $H_2O : CH_4 = 2 : 1$ представляют эндотермической реакцией



идущей с увеличением объема продуктов в $5/3=1,66$ раза, которая сопровождается прямой



* Дубинин Анатолий Михайлович - доктор технических наук, профессор, УрФУ.

* Тупоногов Владимир Геннадьевич - доктор технических наук, профессор, УрФУ.
v.g.tuponogov@urfu.ru

* Сковов Георгий Николаевич – студент УрФУ.

* Чернышёв Владислав Александрович - студент УрФУ.

* Лабинцев Егор Сергеевич - студент УрФУ.